

IV-309

ラダー型マクラギの力学特性解析

鉄道総研 涌井 一 鉄道総研 曾我部 正道
 鉄道総研 奥田 広之 鉄道総研 大屋戸 理明

1. はじめに ラダー型マクラギ（図1参照）は、スリーパーの機能を担うコンクリート製縦梁と、タイの機能を担う小径厚肉鋼管（2.5 m間隔で配置）からなる、剛結混合構造である。本研究では、広範な計算機実験を行い、縦梁曲げモーメント、道床圧力、軌間拡大量および鋼管曲げモーメントに着目して、静的荷重に対する応答値についてパラメータスタディを行った。

2. 縦梁曲げモーメント レールと縦梁が締結装置部の軌道パッドを介して重ね梁となったモデルを用い、縦梁曲げモーメントについて解析した。車両は205系電車とし、その輪重は従来の設計輪重に合わせて160kN（静的輪重80kN×2.0）とした。連続一様支持された12.5m長のラダー型マクラギに連結器をはさむ2台車が載荷した場合の、縦梁曲げモーメントの分布を図2に示す。解析パラメータ値は標準値とした。この場合、2台車の中間位置には、正と同レベルの負の曲げモーメントが作用する。荷重分散の良い60kgレール+10mmパッドの場合を基準にして荷重分散の劣る50kgレール+6mmパッドの場合の曲げモーメント値を見ると、正のそれは約1.5倍となる。

縦梁下面支持バネ係数の影響について解析した結果では、バネ係数が小さくなるほど縦梁曲げモーメントは大きくなる傾向を示すものの、通常とり得るバネ係数の範囲では影響は少ない。また、梁高の影響について解析した結果では、梁高が増すほど縦梁曲げモーメントは大きくなる。図2の結果（梁高=15cm）を基準にして梁高25cmの曲げモーメント値を見ると、正、負とも約2倍となった。

以上は縦梁が連続一様支持された場合であるが、実際の線路では間欠支持状態となることが予想される。そこで、180 cm（3締結間隔に相当）および360 cm（6締結間隔に相当）の不支持区間を設定して縦梁曲げモーメントを求めたところ、図2の結果を基準にすると、前者の場合には正、負とも約3倍、後者の場合には正、負とも約5倍となることが把握された。

ED77型機関車が走行した際の縦梁曲げモーメントの実測値の分布を、解析値（連続一様支持の場合）と比較して図3に示す。バラスト道床の突き固め状態は必ずしも十分な状態ではないと思われるにもかかわらず、曲げモーメントの分布はほぼ一様であり、解析値とも概ね一致した。

なお、不支持区間が発生したとしても、現実には縦梁の変形によって支持状態が回復されるので、路盤陥没でもない限り上記のような間欠支持状態の負荷が作用することはないと判断される。

3. 道床圧力 連続一様支持された12.5m長のラダー型マクラギに、205系電車（輪重は160kNに設定）の連結器をはさむ2台車が載荷した場合の、道床圧力の分布について解析した。解析結果をPC3号横マクラギ軌道と比較して図4に示す。解析パラメータ値は標準値とした。

道床圧力に対しては、レール剛性、軌道パッドのバネ定数および縦梁下面支持バネ係数の影響は小さい。また梁高の影響も比較的小さく、図4の結果（梁高=15cm）を基準にすると、梁高25cmにしても道床圧力は

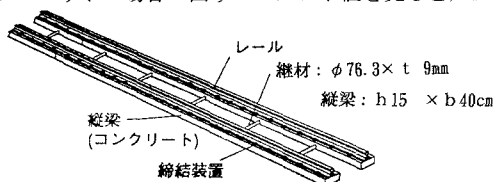


図1 ラダー型マクラギの全体構造と断面諸元

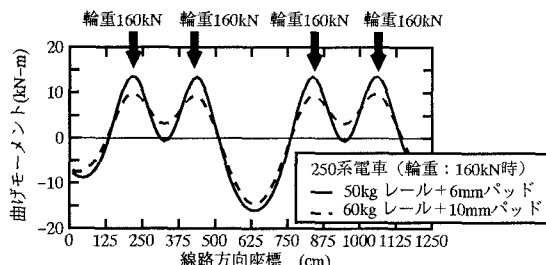


図2 連続一様支持された場合の縦梁曲げモーメントの線路方向分布

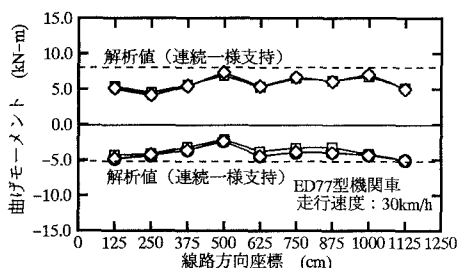


図3 縦梁曲げモーメント（正・負の各最大値）の線路方向分布（実測値と解析値の比較）

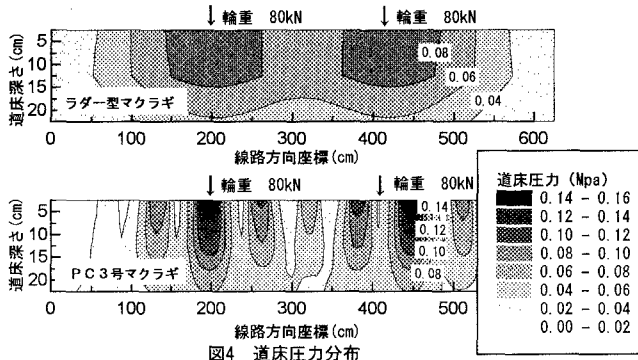


図4 道床圧力分布

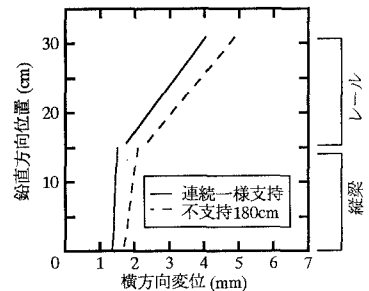


図5 軌間拡大に関する解析結果

20%程度しか減少しない。したがって、梁高を増すことは、道床圧力を減らすという観点からは経済効果が小さいと言える。

PC 3号横マクラギ軌道と比較すると、ラダー型マクラギの最大道床圧力は約1/2 となった。車両重量が半分になったことと同じであり、これだけでも十分な省力化効果が期待できる。さらにラダー型マクラギでは、道床バラストの線路方向の側方流動が生じにくいこと、道床バラストの振動も大幅に低減されること、横マクラギに見られる各個撃破的な挙動がないことなどから、図4の結果から想定されるよりもさらに大きい省力化効果があるものと予測している。この省力化効果を試験敷設、ベンチテストおよび理論検討により定量化することが、ラダー型マクラギの今後の最大の課題であると言える。

4. 軌間拡大量 ラダー型マクラギをレール、縦梁および鋼管からなる立体骨組によりモデル化して、輪重に加えて横圧が作用した際の軌間拡大量(レール天端の横変位)について解析した。車両は205系電車、輪重は80kNとし、その一輪に外軌側の横圧として60kNを作用させた。軌間拡大の着目部位は、2.5m間隔に配置した鋼管と鋼管との中央位置である。縦梁の支持条件は、連続一様支持の場合と、鋼管と鋼管との間の片方の縦梁に180cmの不支持区間を設定した場合、の二つとした。

解析結果を図5に示す。連続一様支持の場合、縦梁には横圧によって約1.5mmの横変位を生じるのみで、横圧および輪重による縦梁の回転は極めて小さい。また、軌間拡大はほとんどレール自身の小返りによって生じており、その状態は横マクラギ軌道と同様である。さらに、不支持区間を設定した場合でも、縦梁の横変位と回転がわずかに増加して、軌間拡大量としては1mm程度の増加をもたらすに過ぎない。

以上の解析結果から、 $\phi 76.3\text{mm}$ 、 $t 9\text{mm}$ の小径厚肉鋼管を2.5m間隔で配してコンクリート製縦梁との剛結混合構造として設計したラダー型マクラギは、十分なタイ機能を確保していると判断した。

5. 鋼管曲げモーメント 軌間拡大量の解析と同様なモデルを用いて、鋼管曲げモーメントについて解析した。車両は205系電車、輪重は160kNとした。片方の縦梁には、鋼管をはさむ180cmの不支持区間を設定した。鋼管径を76.3mmに固定し、その肉厚をパラメータとして変化させた場合の鋼管曲げモーメントの解析結果(付け根断面)を図6に示す。鋼管降伏耐力がこの作用曲げモーメントをほぼ満たすよう、鋼管の肉厚を9mmに決定した。

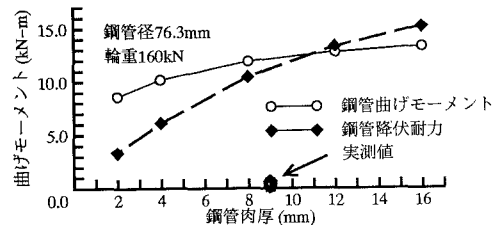


図6 鋼管曲げモーメント・降伏耐力と鋼管肉厚との関係

ED 77型機関車が走行した際の鋼管曲げモーメントの実測値を図6に併せて示す。このように、通常的支持状態であれば、鋼管曲げモーメントは極めて小さい。

6. むすび バラスト道床上ラダー型マクラギ軌道の静力学特性について概ね明らかにすることができた。今後は、種々のタイプのラダー型マクラギ軌道の展開に合わせた解析および列車との動的相互作用解析が必要であると考えている。